干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

基于“三生”功能的土地利用转型及其生态环境效应
——以尉犁县为例

帕茹克·吾斯曼江[1,2]， 郝晋珉[1,2]， 王 楠[1,2]， 史云扬[1,2]，
张金懿[1,2]， 阿依吐尔逊·沙木西[3]

（1. 中国农业大学土地科学与技术学院，北京 100193；2. 国土资源部农用地质量与监测重点实验室，
北京 100193；3. 新疆农业大学管理学院，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：为探讨尉犁县土地利用功能转型及其生态环境效应，利用1993、2001、2009、2017年4期TM影像数据解译获取土地利用变化数据，按照“三生”功能分类，通过面积加权法、土地利用转移矩阵、生态环境质量指数等方法，定量分析尉犁县土地利用功能数量变化、土地利用功能转型及其引致的生态环境效应。结果表明：(1) 1993—2017年，生产用地和生活用地持续增加，生态用地总体减少；土地利用功能转型中转入转出面积最大的是牧草生态用地，其次为其他生态用地，城镇生活用地转入转出面积最小。(2) 尉犁县生态环境质量指数，由1993年的0.07629减至2001年的0.06378，随后持续增至2017年的0.07339，整体生态环境质量有所恶化，但处于慢慢恢复改善状态。(3) 其他生态用地转入湿地生态用地和牧草生态用地是生态环境质量改善的主要原因，相反，其他生态用地和农业生产用地对牧草生态用地的占用则是生态环境质量恶化的主要原因。总体来看，过去25 a尉犁县生态环境恶化和改善趋势并存，但其改善趋势大于其恶化趋势。

关 键 词：“三生”功能；土地利用转型；生态环境效应；尉犁县
文章编号：

党的十八大报告正式提出“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的发展目标，确定了在实现土地资源合理配置、生态文明建设和可持续发展中生产、生活和生态3种空间（简称“三生空间”）的重要地位，促使“三生空间”协调发展成为了推进新时代美丽中国的重要举措[1]。生产、生活、生态3种功能空间涵盖了直接和间接生产，精神、文化、休闲、美学的需求满足以及生物物理过程等，是自然和社会经济系统协同耦合的产物[2]，而这3种功能空间往往是通过土地利用转型而进行相互转化。土地利用转型这一概念最早是由英国利兹大学的Grainger[3]在研究森林转型时提出，龙花楼[4]学者将此概念引入中国后，便成为了土地利用/覆被变化（LUCC）新的研究热点和前沿。土地功能的转型是土地利用转型的驱动因素和表现之一；土地利用功能转型对区域生态系统功能和结构的转变过程有着深远的影响[5]，研究土地利用功能转型的生态环境效应是了解区域生态环境质量状况和预测其变化趋势的重要途径[6]。目前土地利用转型研究主要涉及其理论基础与框架、特征分析、时空演变过程、动力机制、区域差异等内容[7-25]，且涉及的研究区多集中在中国东北、华东和华中地区[26-31]，但是基于“三生”功能对西北生态环境脆弱区土地利用功能转型研究仍较为鲜见。

习近平总书记在党的十九大报告指出“建设美丽中国要牢固树立社会主义生态文明观，着力解决突出环境问题，实施流域环境和近岸海域综合治理”。干旱地区土地资源利用与生态环境之间相互

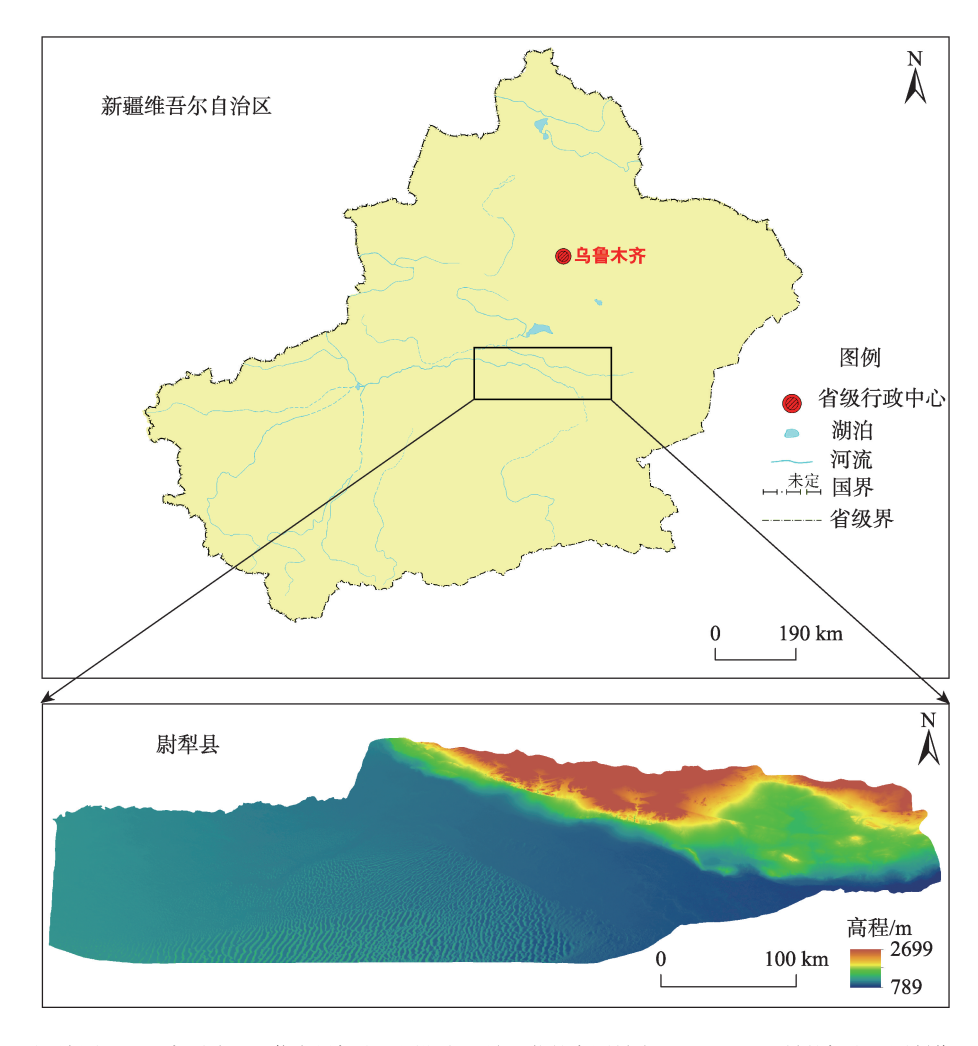
收稿日期：2021-01-06； **修订日期：**2021-04-01
基金项目：国家科技支撑计划项目（2015BAD06B00）资助
作者简介：帕茹克·吾斯曼江（1992-），男，博士，主要从事土地利用生态研究. E-mail: B20203210942@cau.edu.cn
通讯作者：郝晋珉（1960-），男，教授，博士，主要从事土地利用规划和区域可持续研究. E-mail: jmhao@cau.edu.cn

作用、协同变化，形成了相互交织的支持系统。塔里木河流域生态环境问题是新疆的一大热点生态问题，人工绿洲无序扩张、沙漠侵蚀、土地利用功能转型频繁等现象依然存在，致使局部生态环境失调，脆弱的生态环境劣变，威胁着人类的生存；探析尉犁县土地利用功能转型及其生态环境效应，对土地资源的空间规划和生态环境可持续发展具有重要现实意义。

因此，本文基于"三生"功能对尉犁县4个研究期土地利用功能转型及其生态环境质量进行定量分析，揭示土地利用功能转型对生态环境的影响，希冀为促进区域土地资源优化合理配置，为生态环境脆弱区可持续发展和生态文明建设提供参考和借鉴。

1 研究区概况

尉犁县又名"罗布淖尔"，源于"罗布泊"而得名，意为"水草丰腴的湖泊"，境内有全国最长的内陆河——塔里木河以及孔雀河两大水系；尉犁县隶属新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州(图1)，属塔克拉玛干沙漠(世界第二大流动性沙漠)东北缘干旱荒漠区；研究区作为塔里木河中下游典型生态环境脆弱区和南疆丝绸之路经济带核心区，承担着国家优质棉花和粮食生产基地建设、能源与矿产资源开发、绿色生态屏障构筑等战略任务；行政区域面积59700 km²，沙漠面积大约占县域总面积的一半；辖6乡2镇，人口106900人；尉犁县属暖温带大陆性荒漠气候，夏季炎热，冬季干冷，降水稀少，蒸发强劲，空气干燥，气温年较差为36.8 ℃；年平均降水量为43 mm，年平均蒸发量是其60倍；尉犁县盛产棉花，小麦，香梨，有全国最大的胡杨林保护区66666.67 hm²。近些年来，尉犁县生态环境保护工作取得新进展，但生态环境依然十分脆弱，土地资



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2017)1267号的标准地图制作。

图1 尉犁县地理位置示意图

Fig. 1 Location map of Yuli County

源的保护与利用矛盾日益突出,实现区域生态安全目标仍是一项艰巨的任务。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本文通过中国地理空间数据云分别获取研究区1993、2001、2009年和2017年7—8月空间分辨率为30 m的Landsat5/Landsat8遥感影像数据,使用ENVI 5.1对其进行了预处理和监督分类工作,根据尉犁县的实际情况与地域特色,划分为9种土地利用类型:耕地、林地、草地、建设用地、水域、湿地、盐渍化地、沙漠和未利用地。考虑到土地是一个多功能综合体,有其对应的主导功能,例如以土地利用的角度分析,耕地的主要功能为生产功能,林地和草地的主要功能为生态功能。因此按照"三生"分类方法,建立新的土地利用功能分类,即3个一级和7个二级分类体系,利用ArcGIS 10.4对土地利用基础数据进行重新分类与转移矩阵分析,在此基础上,参照高星、杨清可、吕立刚等[5-6,32]制定的土地利用主导功能及其生态环境质量指数,根据尉犁县生态系统的分布情况,利用面积加权法对尉犁县各土地利用功能转型生态环境质量进行修改与赋值(表1),计算并分析不同时期不同土地利用功能转型及其生态环境效应变化。由于工矿生产用地和农村生活用地面积占比非常小,因此未考虑纳入二级分类及其生态环境质量指数的修正。

本文遥感影像数据已基于研究区1:5万地形图完成地理位置纠正。2017年的土地利用现状分类结果经外业调查验证,分类总体精度介于85.24%~90.33%,Kappa系数总体达0.875以上。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵是土地利用系统中各土地利用类型相互转移的定量描述,通过对任意两期的土地利用变化面积转移矩阵排列,可分析出土地利用面积的转移大小和转入转出方向。本文利用ArcGIS 10.4空间叠加运算功能,对不同时期土地利用类型数据进行交叉分析,获取1993—2001年、2001—2009年、2009—2017年以及1993—2017年4期土地利用转移矩阵。转移矩阵表达式为:

$$S_{ij}=\begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1(n-1)} & S_{1n} \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{n(n-1)} & S_{nn} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

式中:S为土地利用面积;i、j分别为研究期初末的土地利用功能类型;n为土地利用功能类型数量。

2.2.2 生态环境效应

(1) 生态环境质量指数。通过"三生"功能分类方法,根据生态环境质量指数来定量分析尉犁县4期生态环境质量的总体状况。其表达式为:

$$\mathrm{EV}_t=\sum_{i=1}^{n}\frac{S_{ki}}{S_k}R_i \tag{2}$$

式中:EV_t为第t时期生态环境质量指数;n为土地利用功能类型数量;S_{ki}为第t时期i种土地利用功能类型的面积;S_k为区域总面积;R_i为第i种土地利用功能类型生态环境质量指数。

(2) 土地利用功能转型生态贡献率。该方法可进一步分离出改善或恶化生态环境的转型过程,有助于探讨造成研究区生态环境变化的主导因素。其表达式为:

表1 尉犁县土地利用功能分类及其生态环境质量修正指数

Tab. 1 Land use function classification and eco-environmental quality correction index in Yuli County

土地利用主导功能分类		土地利用分类系统二级地类	生态环境质量指数
一级地类	二级地类		
生产用地	农业生产用地	旱地	0.28
生态用地	林地生态用地	林地、灌木林地、疏林地、其他林地	0.73
	牧草生态用地	高、中、低覆盖度草地	0.53
	水域生态用地	河渠、湖泊、水库、冰川、永久积雪地	0.62
	湿地生态用地	沼泽、河口、人工湿地	0.63
	其他生态用地	沙地、戈壁、盐碱地、裸土地等	0.03
生活用地	城镇生活用地	城镇建设用地	0.20

$$LEI=(LE_{t1}-LE_{t0})LA/TA \quad (3)$$

式中：LEI为土地利用功能转型的生态贡献率；LE_{t1}、LE_{t0}分别为土地利用功能类型变化末期和初期的生态环境质量指数；LA为该变化类型的面积；TA为该研究区域的总面积。

3 结果与分析

3.1 土地利用功能面积变化分析

根据图2可以看出，尉犁县4个时期“三生”土地利用面积中，生态用地的面积最大，呈片状覆盖在研究区大部分区域，其次为生产用地即农业生产用地，呈块状分散在塔克拉玛干沙漠和孔雀河边缘，生活用地即城镇生活用地面积最小，呈块状集中在塔里木盆地东北部。生态用地中其他生态用地分布最为广泛，占区域总面积的90%以上。1993—2017年土地利用功能总体变化趋势表现为：生产用地和生活用地面积持续增加，生态用地面积总体减少。

按二级地类分析，1993—2017年，尉犁县各土地利用功能类型的面积变化整体呈现“四增三减”态势，农业生产用地、城镇生活用地、水域生态用地和湿地生态用地面积增加；林地生态用地、牧草生态用地和其他生态用地面积减少（表2）。具体来看，随着尉犁县人口的增长和社会经济的发展，人们对农业生产用地和城镇生活用地的需求不断扩大，进一步导致了二者面积持续增加，2017年农业生产用地面积为143399.97 hm^2，增加了近4.6倍，城镇生活用地面积增加了2062.89 hm^2，其中2009—2017年二者面积大幅度增加，说明这一时期内人们对土地开垦和开发速率较快。1993—2017年林地生态用地和牧草生态用地面积共减少了129493.35 hm^2，占生态用地变化量的82.41%，可见研究区林地和草地面积变化对生态用地的影响较大，另外，4个时期内二者面积的增加或减少趋势保持一致，说明具有一定的相关性。水域生态用地和湿地生态用

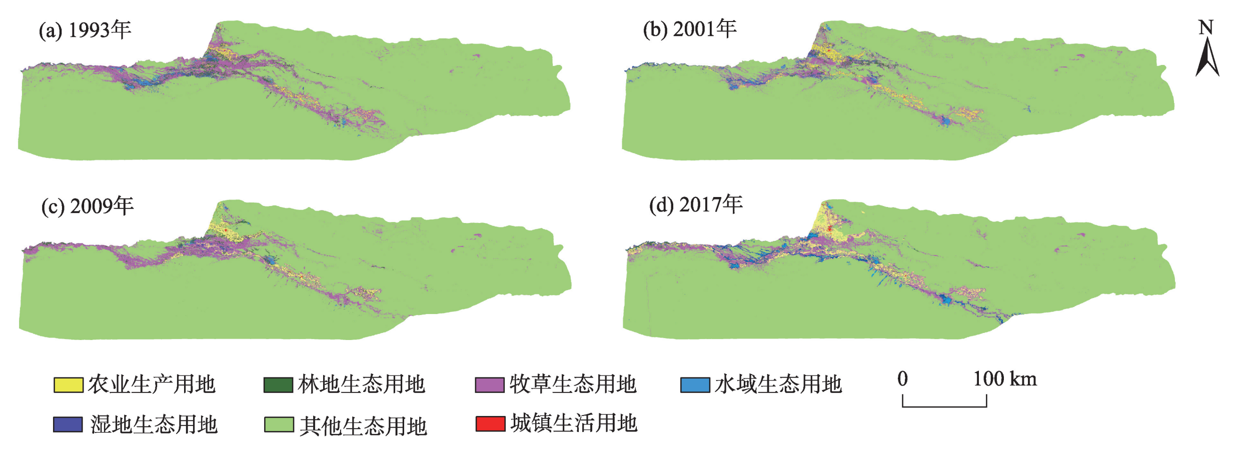


图2 1993—2017年尉犁县土地利用功能类型面积变化

Fig. 2 Area change map of land use function types in Yuli County from 1993 to 2017

表2 不同时期尉犁县土地利用功能类型面积及其变化

Tab. 2 Areas and changes of land use function types in different periods of Yuli County /hm^2

土地利用类型	面积				净增减变化			
	1993年	2001年	2009年	2017年	1993—2001年	2001—2009年	2009—2017年	1993—2017年
农业生产用地	31212.99	71775.00	82428.03	143399.97	40562.01	10653.03	60971.94	112186.98
林地生态用地	66060.36	30654.36	53335.35	19886.49	−35406.00	22680.99	−33448.86	−46173.87
牧草生态用地	385006.32	239157.36	321794.01	301686.84	−145848.96	82636.65	−20107.17	−83319.48
水域生态用地	21832.38	24399.18	10746.18	24660.45	2566.80	−13653.00	13914.27	2828.07
湿地生态用地	28203.84	46998.81	12791.97	72930.51	18794.97	−34206.84	60138.54	44726.67
其他生态用地	5438478.87	5557225.55	5488996.77	5410834.29	118746.68	−68228.78	−78162.48	−27644.58
城镇生活用地	149.94	743.04	852.48	2212.83	593.10	109.44	1360.35	2062.89

地具有控制土壤侵蚀、涵养水源等生态功能，是研究区生态系统重要组成部分，1993—2017年，水域生态用地增加2828.07 hm^2，湿地生态用地增加44726.67 hm^2，二者面积在4个研究期增加或减少趋势与林地生态用地和牧草生态用地增减趋势刚好相反。其他生态用地的总量相对稳定，呈先增后减趋势，共减少了27644.58 hm^2（沙漠和盐渍化地的面积呈增加趋势）。

虽然尉犁县生活用地面积占比最小，但随着城镇化水平的不断提升，人们对生产用地和生活用地需求增加，致使二者面积持续增加，进而导致生态用地面积总体减少。对此，应在生态环境保护的同时，合理规划布局生产和生活用地，为区域经济和生态可持续发展奠定好一定的基础。

3.2 土地利用功能转型分析

为了探讨尉犁县各土地利用功能类型间的相互转换规律，基于4个时期土地利用现状图，利用ArcGIS 10.4空间分析功能分别获取了研究区1993—2001年、2001—2009年、2009—2017年、1993—2017年土地利用转移矩阵，明确了4个时期不同土地利用功能转型的转化方向和面积大小（表3）。

分析结果表明，1993—2017年，农业生产用地和城镇生活用地净转入面积分别为118526.85 hm^2，2099.61 hm^2，农业生产用地面积的增加主要因为牧草、其他和林地生态用地的转入，说明其面积的增加主要在于其本身补充的面积大于退耕还林还草政策实施所用面积所致；部分农业生产用地向城镇生活用地大面积转出，可见研究区在城镇化过程中占用了部分农业生产用地资源。在4个时期内，其他生态用地和牧草生态用地为主要相互转化对象；1993—2017年，牧草生态用地共转出211601.34 hm^2，向其他生态用地转出面积大于其转入面积，其向其他生态用地转出面积103061.52 hm^2，转出速度为4122.46 $hm^2 \cdot a^{-1}$，转入面积81144.63 hm^2，转入速度为3245.79 $hm^2 \cdot a^{-1}$，这是由于人们过度放牧和开垦，沙漠侵蚀以及水资源匮乏，最终导致了牧草生态用地的逐渐退化；林地生态用地面积的减少主要是因为向牧草生态用地、农业生产用地和其他生态用地转出面积较大，如1993—2001年，其向三者分别转出30468.60 hm^2、7145.28 hm^2、9727.92 hm^2，对应的转移率分别为53.76%、12.61%、17.17%；近些年来，随着尉犁县政府对水域生态用地和湿地生态用地资源重视程度的日益提高，致使二者面积有所回

表3 不同时期尉犁县土地利用功能转移矩阵

Tab. 3 Transfer matrix of land use function in different periods of Yuli County /hm^2

	1993—2001年							2001—2009年						
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
Ⅰ	27599.58	704.88	2089.80	56.61	17.73	209.88	534.51	52754.67	6480.63	10362.51	51.39	224.37	317.43	1584.00
Ⅱ	7145.28	9388.71	30468.60	51.66	1362.33	7915.86	9727.92	3166.56	4830.66	16902.72	29.16	174.42	795.33	4755.51
Ⅲ	31123.53	16982.91	130443.66	409.59	3164.67	12946.68	189934.65	15053.04	19248.48	124330.14	252.63	1436.49	3741.75	75094.83
Ⅳ	3.24	1.08	20.88	93.15	22.95	7.56	1.89	63.90	71.37	62.55	360.81	0.54	0.36	183.51
Ⅴ	258.21	341.73	3668.22	3.15	10443.42	5076.00	2041.47	136.89	1870.83	11399.40	28.62	3704.04	1854.99	5404.41
Ⅵ	889.65	1486.44	10793.79	5.76	3537.27	8471.70	3019.23	1230.48	6608.16	24430.23	26.73	2137.23	1954.80	10611.18
Ⅶ	4755.51	1748.61	61672.41	123.12	5850.81	12371.13	5351957.82	10022.49	14225.22	134306.10	103.14	3069.09	4127.22	5391362.79
	2009—2017年							1993—2017年						
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
Ⅰ	67403.70	2221.56	10027.71	390.87	69.21	468.72	1825.47	24823.71	1209.33	4116.78	440.82	22.77	105.03	492.14
Ⅱ	13206.96	5590.89	18588.51	310.14	1628.55	5792.13	8149.50	16261.74	4328.37	28276.02	110.52	1758.24	8455.95	6823.08
Ⅲ	40457.16	10174.86	174075.93	90.18	10787.13	40138.20	45717.93	65996.28	8844.75	173019.87	781.74	5695.56	27221.49	103061.52
Ⅳ	85.32	8.82	120.06	600.03	11.97	16.92	9.36	3.42	3.78	9.81	113.22	1.35	9.27	9.90
Ⅴ	714.69	179.28	1019.79	7.83	3436.92	2601.72	2771.55	1278.90	701.37	4346.64	9.90	7179.75	7157.88	1110.78
Ⅵ	1913.85	340.20	3888.45	6.30	1556.91	2690.37	2388.15	3306.42	1318.68	10532.79	24.84	2914.29	8131.77	1967.31
Ⅶ	19568.88	1353.06	93726.09	806.58	7133.13	21130.02	5344410.78	31680.09	3462.39	81144.63	731.79	7051.86	21756.69	5291811.18

注：I为农业生产用地；II为林地生态用地；III为牧草生态用地；IV为城镇生活用地；V为水域生态用地；VI为湿地生态用地；VII其他生态用地。下同。

升，尤其是2009—2017年间二者面积大幅度增加，具体主要表现为牧草生态用地、其他生态用地和林地生态用地分别向二者大面积转入所致，共分别转入19548.81 hm^2，67060.35 hm^2。

区域不同时段的土地利用功能转型与其特有的经济发展阶段相对应，并且受其固有的自然条件所约束。纵观整个研究期，农业生产用地、林地生态用地、牧草生态用地和其他生态用地转入转出面积较大，正向和逆向转移较为明显；与之相反的是城镇生活用地，其转入转出面积较小，正向和逆向转移不明显。

3.3 生态环境效应分析

3.3.1 生态环境质量指数分析 根据公式(2)计算可得尉犁县1993、2001、2009年和2017年基于"三生"功能总生态环境质量指数分别为0.07629、0.06378、0.06903、0.07339。由此可知，总生态环境质量指数呈先减后增的变化趋势，1993—2017年，尉犁县总生态环境质量指数降低了0.00290，说明总体上生态环境质量处于恶化状态，但从2001—2017年的变化趋势看，其生态环境质量正朝着健康的方向发展。

从表4分析得出，1993—2017年，研究区农业生产用地和城镇生活用地生态环境质量指数呈增长趋势，但其占总生态环境质量指数的比例较小，二者比例相加不足10%；作为研究区重要的生态系统，林地生态用地和牧草生态用地有水土保持和防风固沙的作用，可以有效防止土地的退化，但随着二者面积的减少，其生态环境质量指数也在慢慢降低，林地生态用地从10.59%减少到3.31%，牧草生态用地从44.79%减少到36.46%；湿地生态用地具有多种生态功能，特别是在干旱区，其蓄水、控制沙漠侵蚀、调节气候、保持生物多样性等生态功能具有不可替代的重要作用，25 a来研究区湿地生态用地生态环境质量指数由0.00298增长到0.00769，贡献率增长了6.57%；其次，水资源是尉犁县的命脉，且是长期阻碍生态系统良性循环的影响因素之一，2017年水域生态用地生态环境质量指数为0.00256，仅占总生态环境质量指数的3.49%；其他生态用地生态环境质量指数由0.02732降低至0.02716，其贡献率前后变化不大。

本文利用面积加权法重新赋值计算得出研究区各土地利用功能类型生态环境质量指数最高为林地生态用地，湿地生态用地居其次，城镇生活用地和其他生态用地位列最后；但由于各土地利用功能类型面积的不同，导致其最终的生态环境质量指数会发生变化，如2017年其他生态用地生态环境质量指数最高，林地生态用地生态环境质量指数最低；从总生态环境质量指数波动变化上看，生态环境质量总体上较为稳定，各土地利用功能类型的相互转化对生态环境的影响可能起正面或负面作用。

3.3.2 土地利用功能转型对生态环境的贡献率分析 为了探析研究区生态环境内部的变化，利用公式(3)分别计算出尉犁县4个时期内土地利用功能转型引致的生态环境贡献率(表5)。

分析得出，在4个时期内，生态环境质量指数最低的其他生态用地向生态环境质量指数较高的牧草生态用地的转化，在很大程度上改善了研究区生态环境质量，贡献率分别为61.36%、70.98%、58.25%、55.98%；除2001—2009年，其他生态用地面积向湿地生态用地面积的转移也有利于生态环境

表4 尉犁县各土地利用功能类型生态环境质量指数及贡献率

Tab. 4 Ecological environmental quality index and contribution rate of each land use function type in Yuli County

土地利用类型	1993年		2001年		2009年		2017年	
	EV	贡献率/%	EV	贡献率/%	EV	贡献率/%	EV	贡献率/%
Ⅰ	0.00146	1.91	0.00337	5.28	0.00387	5.61	0.00672	9.16
Ⅱ	0.00808	10.59	0.00375	5.88	0.00652	9.45	0.00243	3.31
Ⅲ	0.03417	44.79	0.02123	33.29	0.02856	41.37	0.02676	36.46
Ⅳ	0.00001	0.01	0.00002	0.03	0.00003	0.04	0.00007	0.10
Ⅴ	0.00227	2.98	0.00253	3.97	0.00112	1.62	0.00256	3.49
Ⅵ	0.00298	3.91	0.00496	7.78	0.00135	1.96	0.00769	10.48
Ⅶ	0.02732	35.81	0.02792	43.78	0.02758	39.95	0.02716	37.01

注：EV为生态环境质量指数。

表5　不同时期尉犁县影响生态环境质量的主要土地利用功能转型及贡献率

Tab. 5　Transformation and contribution rate of main land use functions affecting eco-environmental quality during different periods in Yuli County

模式	1993—2001年			2001—2009年		
	用地功能转型	指数变化	贡献率/%	用地功能转型	指数变化	贡献率/%
导致生态环境改善	Ⅶ—Ⅲ	0.00516	61.36	Ⅶ—Ⅲ	0.01125	70.98
	Ⅶ—Ⅵ	0.00124	14.74	Ⅲ—Ⅱ	0.00064	4.04
	Ⅶ—Ⅴ	0.00058	6.90	Ⅰ—Ⅱ	0.00049	3.09
	Ⅲ—Ⅱ	0.00057	6.78	Ⅰ—Ⅲ	0.00043	2.71
	Ⅲ—Ⅵ	0.00022	2.62	Ⅶ—Ⅰ	0.00042	2.65
	总计	0.00777	92.40	总计	0.01323	83.47
导致生态环境恶化	Ⅲ—Ⅶ	−0.01590	76.04	Ⅲ—Ⅶ	−0.00629	59.23
	Ⅲ—Ⅰ	−0.00130	6.22	Ⅵ—Ⅶ	−0.00107	10.08
	Ⅱ—Ⅶ	−0.00114	5.45	Ⅲ—Ⅰ	−0.00063	5.93
	Ⅱ—Ⅲ	−0.00102	4.88	Ⅱ—Ⅲ	−0.00057	5.37
	Ⅱ—Ⅰ	−0.00054	2.58	Ⅱ—Ⅶ	−0.00056	5.27
	总计	−0.01990	95.17	总计	−0.00912	85.88

模式	2009—2017年			1993—2017年		
	用地功能转型	指数变化	贡献率/%	用地功能转型	指数变化	贡献率/%
导致生态环境改善	Ⅶ—Ⅲ	0.00784	58.25	Ⅶ—Ⅲ	0.00679	55.98
	Ⅶ—Ⅵ	0.00212	15.75	Ⅶ—Ⅵ	0.00218	17.97
	Ⅶ—Ⅰ	0.00082	6.09	Ⅶ—Ⅰ	0.00133	10.96
	Ⅶ—Ⅴ	0.00070	5.20	Ⅶ—Ⅴ	0.00070	5.77
	Ⅲ—Ⅵ	0.00067	4.98	Ⅶ—Ⅱ	0.00041	3.38
	总计	0.01215	90.27	总计	0.01141	94.06
导致生态环境恶化	Ⅲ—Ⅶ	−0.00383	42.18	Ⅲ—Ⅶ	−0.00862	54.28
	Ⅲ—Ⅰ	−0.00169	18.61	Ⅲ—Ⅰ	−0.00276	17.38
	Ⅱ—Ⅰ	−0.00099	10.90	Ⅱ—Ⅰ	−0.00122	7.68
	Ⅱ—Ⅶ	−0.00095	10.46	Ⅱ—Ⅲ	−0.00095	5.98
	Ⅱ—Ⅲ	−0.00062	6.83	Ⅱ—Ⅶ	−0.00080	5.04
	总计	−0.00808	88.98	总计	−0.01435	90.36

质量的提高，1993—2001年生态贡献率最高，为14.74%；其他生态用地向农业生产用地转化会对研究区带来生态环境正的效应，说明对其他生态用地的开垦利用也有一定的生态价值。林地生态用地和牧草生态用地大面积向农业生产用地转入过程以及生态用地间的互相转化，例如牧草生态用地向林地和湿地生态用地的转出；这4种转型方式都对尉犁县生态环境有积极的影响。

与此相反，在4个时期内，其他生态用地对牧草生态用地的占用在生态环境负效应贡献率中占比较高，分别为：76.04%、59.23%、42.18%、54.28%。2009—2017年和1993—2017年，牧草生态用地向农业生产用地的转化，对研究区生态环境质量产生消极影响，生态贡献率分别为18.61%、17.38%。其次，湿地生态用地退化成其他生态用地，在很大程度上引致了生态环境质量的下降。虽然从总体上看研究区4个时期内生态环境质量改善和恶化趋势并存，但不能忽视生态环境内部所发生的局部恶化，另外研究区作为生态环境脆弱区，这些局部恶化会造成生态系统不可逆转的退化。

4　讨 论

（1）从研究区各土地利用功能类型生态环境质量指数及其转型贡献率分析可知，尉犁县应优先保

护的土地利用功能类型分别为：林地生态用地、湿地生态用地、水域生态用地，牧草生态用地；主要制止其他生态用地（沙漠和盐渍化地）和农业生产用地分别对牧草生态用地和林地生态用地的占用。在此基础上，尉犁县应以水资源合理配置为核心，更加严格实行禁牧休牧轮牧制度；积极采用滴灌栽培技术，加强林地和草地的后期管护，防止沙漠和盐渍化地的蔓延，杜绝对林地、草地、水域及湿地资源的人为破坏以促进尉犁县生态环境得到持续改善。

（2）研究区应依照国土空间规划体系要求，明确"三区三线"具体范围，尤其是研究区生态空间与城镇空间的管控，城镇开发边界和生态保护红线的科学划定，是协调尉犁县自然资源科学保护与合理利用的重要工作；与此同时，积极尝试打造新型多层次循环农业生态系统，依托研究区种植业、畜牧业和渔业，模块间形成生态链的良性循环。

（3）生态环境效应研究不仅与研究区土地利用功能类型各自对应的生态环境质量指数有关，还与各土地利用功能类型的面积有密切关系，即使研究团队对土地利用数据进行过实地验证，但数据来源是由遥感解译获取，难免在精确度方面存在误差，对此，更精确的遥感影像数据，能确保土地利用数据的可靠，从而使研究成果更加准确，可信。生态环境效应是土地生态学领域的重要研究内容，决定着生态保护的方向和力度，其影响因素除了本文提到的研究区面积和生态环境质量指数外，还涉及到区域经济发展水平、土地资源承载力、水资源"家底"、土地利用行为等众多要素，这些因素的综合考虑是下一步探讨研究的方向。

5　结　论

（1）1993—2017年，尉犁县基于"三生"功能土地利用面积变化主要表现为生产用地和生活用地的快速增加伴随着生态用地的缓慢减少。按照二级分类分析，即农业生产用地、城镇生活用地、水域生态用地和湿地生态用地面积增加，林地生态用地、牧草生态用地和其他生态用地面积减少。

（2）在4个土地利用转型期中，生产生活用地、林地生态用地、牧草生态用地、其他生态用地转型过程较为明显，其他土地利用功能类型均有不同程度的转换。1993—2017年，转出面积最大的是牧草生态用地，共转出211601.34 hm^2；净转入面积最大的是农业生产用地，净转入118526.85 hm^2。

（3）1993—2017年，尉犁县总生态环境质量指数呈现先减后增的变化趋势；总体上处于较为稳定的状态。牧草生态用地和其他生态用地生态环境质量指数贡献率较大；林地生态用地、湿地生态用地、水域生态用地面积的增加在很大程度上有助于提升尉犁县生态环境质量。

（4）纵观整个研究期，生态环境质量指数最低的其他生态用地向生态环境质量指数价高的除其本身之外的其他生态用地的转出，生态贡献率较大，对研究区生态环境质量有正的效应；相反，城镇生活用地、其他生态用地向林地和牧草生态用地的转入，在很大程度上对生态环境质量有负的效应。

参考文献（References）

[1] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391. [Huang Jinchuan, Lin Haoxi, Qi Xiaoxiao. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space [J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 378-391.]

[2] 李广东, 方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65. [Li Guangdong, Fang Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1): 49-65.]

[3] Grainger A. National land use morphology[J]. Geography, 1995, 80 (3): 235-245.

[4] 龙花楼. 土地利用转型——土地利用/覆被变化综合研究的新途径[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 87-90. [Long Hualou. Land use transition: A new integrated approach of land use/ cover change study[J]. Geography and Geo-information Science, 2003, 19(1): 87-90.]

[5] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 等. 基于"三生空间"的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7113-7122. [Gao Xing, Liu Zewei, Li Chenxi, et al. Land use function transformation in the Xiong'an New Area based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7113-7122.]

[6] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于"三生空间"的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living

spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1): 97-106.]

[7] 田培, 龚雨薇, 朱占亮, 等. 三峡水库坝区生态屏障区近25年土地利用变化评价[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 78-85. [Tian Pei, Gong Yuwei, Zhu Zhanliang, et al. Evaluation of land use change in the ecological barrier zone of the dam area of the Three Gorges Reservoir in recent 25 years[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(2): 78-85.]

[8] 张帅, 汪洋, 夏婷婷, 等. 塔里木河生态输水条件下土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响[J]. 干旱区地理, 2021, 44(3): 739-749. [Zhang Shuai, Wang Yang, Xia Tingting, et al. Effects of land use/cover change on ecosystem service value under the ecological water conveyance of Tarim River[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(3): 739-749.]

[9] 马新萍, 韩申山, 王磊, 等. 大西安地区土地利用类型时空演变分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 499-507. [Ma Xinping, Han Shenshan, Wang Lei, et al. Spatial and temporal evolution of land use types in the greater Xi'an area[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 499-507.]

[10] 王宁, 杨光, 韩雪莹, 等. 内蒙古1990—2018年土地利用变化及生态系统服务价值[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 244-250. [Wang Ning, Yang Guang, Han Xueying, et al. Land use change and ecosystem service value in Inner Mongolia from 1990 to 2018[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 244-250.]

[11] 王权, 李阳兵, 黄娟, 等. 喀斯特槽谷区土地利用转型过程对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 192-198. [Wang Quan, Li Yangbing, Huang Juan, et al. Effect of land use transformation process on ecosystem service value in Karst trough valley area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 192-198.]

[12] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607-1618. [Long Hualou. Land use transition and land management[J]. Geographical Research, 2015, 34(9): 1607-1618.]

[13] 陈龙, 周生路, 周兵兵, 等. 基于主导功能的江苏省土地利用转型特征与驱动力[J]. 经济地理, 2015, 35(2): 155-162. [Chen Long, Zhou Shenglu, Zhou Bingbing, et al. Characteristics and driving forces of regional land use transition based on the leading function classification: A case study of Jiangsu Province[J]. Economic Geography, 2015, 35(2): 155-162.]

[14] 宋小青. 论土地利用转型的研究框架[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 471-487. [Song Xiaoqing. Discussion on land use transition research framework[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(3): 471-487.]

[15] 陈会, 李阳兵, 盛佳利. 基于土地利用变化的贵州坝子土地利用功能演变研究[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9325-9338. [Chen Hui, Li Yangbing, Sheng Jiali. Study on the evolution of land use function of basins based on land use change in Guizhou Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(24): 9325-9338.]

[16] 田俊峰, 王彬燕, 王士君. 东北地区土地利用转型特征测度与机制探索[J]. 经济地理, 2020, 40(9): 184-195. [Tian Junfeng, Wang Binyan, Wang Shijun. Land use transition in northeast China: Features measurement and mechanism exploration[J]. Economic Geography, 2020, 40(9): 184-195.]

[17] 胡守庚, 童陆亿, 龙花楼. 论土地利用转型潜力及其评价的理论框架[J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1367-1377. [Hu Shougeng, Tong Luyi, Long Hualou. Land use transition potential and itsassessment framework[J]. Geographical Research, 2019, 38(6): 1367-1377.]

[18] 张晓琳, 金晓斌, 范业婷, 等. 1995—2015年江苏省土地利用功能转型特征及其协调性分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(4): 689-706. [Zhang Xiaolin, Jin Xiaobin, Fan Yeting, et al. Spatial-temporal characteristics and coordination status of the land use function transition in Jiangsu Province from 1995 to 2015[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 689-706.]

[19] 龙花楼, 屠爽爽. 土地利用转型与乡村振兴[J]. 中国土地科学, 2018, 32(7): 1-6. [Long Hualou, Tu Shuangshuang. Land use transition and rural vitalization[J]. China Land Science, 2018, 32(7): 1-6.]

[20] 帕茹克·吾斯曼江, 阿依吐尔逊·沙木西, 刘新平, 等. 尉犁县土地利用/覆被变化的区域生态系统服务价值变化[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 325-330, 338. [Wusimanjiang Paruke, Shamuxi Ayituerxun, Liu Xinping, et al. Change of regional ecosystem service value in the region with land use/cover change in Yuli County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 325-330, 338.]

[21] 张鹏飞, 古丽·加帕尔, 包安明, 等. 塔里木河流域近期综合治理工程生态成效评估[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 156-164. [Zhang Pengfei, Jiapaer Guli, Bao Anming, et al. Ecological effects evaluation for short term planning of the Tarim River[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(1): 156-164.]

[22] 梁小英, 段宁, 刘康. 土地利用功能变化与农户响应研究进展[J]. 干旱区地理, 2019, 42(2): 385-391. [Liang Xiaoying, Duan Ning, Liu Kang. Research review on the land use function change and the farmers' response[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(2): 385-391.]

[23] 焦露, 薛哲进, 尹剑, 等. "三生空间"视角下喀斯特地区土地利用转型的生态环境效应——以贵州省为例[J]. 生态经济, 2020, 36(4): 206-212. [Jiao Lu, Xue Zhejin, Yin Jian, et al. Eco-environmental effects of land use transition in Karst area based on the view of "ecological-production-living spaces": Taking Guizhou Province as an example[J]. Ecological Economy, 2020, 36(4): 206-212.]

[24] Asabere S B, Acheampong R A, Ashiagbor G, et al. Urbanization, land use transformation and spatio-environmental impacts: Analyses of trends and implications in major metropolitan regions of Ghana[J]. Land Use Policy, 2020, 96, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104707.

[25] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应——基于长江经济带127个地级市的实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 174-181. [Yuan Shaofeng, Tang Yiyu, Shentu Chuning. Spatiotemporal change of land-use transformation and its eco-environmental response: A case of 127 counties in Yangtze River Economic Belt[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 174-181.]

[26] 田俊峰, 王彬燕, 程利莎, 等. 政策主导下的区域土地利用转型过程与机制——以中国东北地区为例[J]. 地理研究, 2020, 39(4): 805-821. [Tian Junfeng, Wang Binyan, Cheng Lisha, et al. The process and mechanism of regional land use transition guided by policy: A case study of northeast China[J]. Geographical Research, 2020, 39(4): 805-821.]

[27] 许凤娇, 吕晓, 陈昌玲. 山东省城乡建设用地转型的时空格局[J]. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1554-1567. [Xu Fengjiao, Lü Xiao, Chen Changlin. Spatial-temporal pattern of urban-rural construction land transition in Shandong Province[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(9): 1554-1567.]

[28] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究[J]. 地理研究, 2018, 37(5): 1009-1022. [Liu Yongqiang, Long Hualou, Li Jialin. Study on the land use transition and its cross-sensitivity of ecological service function in the middle of Yangtze River Economic Belt[J]. Geographical Research, 2018, 37(5): 1009-1022.]

[29] 戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 等. 黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4): 319-327. [Ge Dazhuan, Long Hualou, Tu Shuangshuang, et al. Coupling relationship between land use transitions and grain yield in Huang-Huai-Hai Plain, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2017, 34(4): 319-327.]

[30] 陈万旭, 李江风, 冉端. 长江中游城市群土地利用转型和城镇化之间的空间关系[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5): 1036-1048. [Chen Wanxu, Li Jiangfeng, Ran Duan. On the spatial relationship between land use transition and urbanization in the middle Yangtze River urban cluster[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(5): 1036-1048.]

[31] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 691-700. [Liu Yongqiang, Liao Liuwen, Long Hualou, et al. Effects of land use transitions on ecosystem services value: A case study of Hunan Province[J]. Geographical Research, 2015, 34(4): 691-700.]

[32] 吕立刚, 周生路, 周兵兵, 等. 区域发展过程中土地利用转型及其生态环境响应研究——以江苏省为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1442-1449. [Lü Ligang, Zhou Shenglu, Zhou Bingbing, et al. Land use transformation and its eco-environmental response in process of the regional development: A case study of Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(12): 1442-1449.]

Land use transformation based on production-living-ecological functions and associated eco-environment effects: A case study in Yuli County

Paruke WUSIMANJIANG[1,2], HAO Jinmin[1,2], WANG Nan[1,2], SHI Yunyang[1,2], ZHANG Jinyi[1,2], Ayituerxun SHAMUXI[3]

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality Monitoring and Control, the Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China; 3. College of Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: Presently, based on the production-living-ecological function, the regional understanding of the transformation of land use function and the research results on eco-environmental effects in northwest eco-environmentally vulnerable areas of China remain relatively rare. Accordingly, this paper attempts to reveal the impact of land use function transformation on the ecological environment, hoping to provide a reference for promoting the rational allocation of regional land resources and guide the sustainable development of ecologically vulnerable areas to help construct an ecological civilization. We used thematic mapper image data from 1993, 2001, 2009, and 2017 to obtain land use change data of Yuli County, Xinjiang, China. According to the production-living-ecological function classification, we quantitatively analyzed the land use function change, land use function transformation, and the ecological impact in Yuli County using an area weighting method, land use transfer matrix, eco-environmental quality index, and ecological contribution rate of land use function transformation, among other methods. The results demonstrated the following: (1) From 1993 to 2017, both the area of production land and that of living land continued to increase, and the ecological land decreased as a whole. According to the transformation of land use function, the largest transfer-out area was grassland ecological land, followed by other ecological lands, whereas the urban living land was the smallest such area. (2) The ecological environment quality index of Yuli County decreased from 0.07629 in 1993 to 0.06378 in 2001, after which it continued to increase to 0.07339 in 2017. The overall ecological environment quality deteriorated but then entered a state of gradual recovery and improvement. (3) The transfer of other ecological lands with low ecological environment quality index to wetland ecological land and forage ecological land was the dominant factor in the improvement of ecological environment quality. By contrast, the occupation of forage ecological land by other ecological land and agricultural production land was the dominant factor in the deterioration of environmental quality. Generally speaking, over the past 25 years, trends of ecological environment deterioration and improvement have coexisted, although the trend of improvement has been stronger than that of deterioration.

Key words: production-living-ecological function; land use transformation; eco-environmental effect; Yuli County